

Agus Supriatna Somantri dan Djajeng Sumangat

**MODEL SIMULASI DAN RANCANG BANGUN
KAPASITAS USAHA PENYULINGAN MINYAK NILAM**

Agus Supriatna Somantri dan Djajeng Sumangat

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian
Jl. Tentara Pelajar No. 12 Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Bogor 16114.
e-mail : assomantri@yahoo.com**ABSTRACT**

Essential oil product as an export commodity has always been possessed an increasing world market in spite of facing hard competition and non-tariff barrier in the world trade; therefore there is a need to formulate a policy and an effort to increase the productivity and efficiency of integrated and sustainable essential-oil agroindustry. This research aimed at providing the database of essential oil distillation system especially for the patchouly oil at various economic scale. This database can be used as an input for engineering design system as well as for patchouly oil agroindustry system. The methods used were analytical, numerical and econometrical which were supported by empirical and theoretical data. The research results showed that mathematical model constructed for prediction and optimization of essential oil distillation especially for patchouly-oil had the capability to generate integrative information of predictive equipments dimensions, rate of distillation and energy consumption. Based on the mathematical model, theoretical patchouly oil distillation time was 8 hours in order to produce average yield 2.54 %. The quantity of the patchouly oil for each distillation process had positive correlation with the distillation capacity. Economical analysis on essential oil distillation at various economic scale showed that the cost of distillation equipment at development level had positive correlation with the distillation capacity. The minimum price of patchouly oil which was still profitable followed the equation $y = 3 \times 10^6 x^{-0.4693}$ ($R^2 = 0.9891$) if kerosene used as energy source.

Keywords: *Simulation, distillation, essential oil, patchouly.*

PENDAHULUAN

Salah satu produk minyak atsiri terbesar dari Indonesia adalah minyak nilam. Minyak nilam seringkali digunakan untuk kebutuhan berbagai industri penghasil produk antara lain parfum, kosmetik dan sabun karena ciri utama minyak nilam adalah fiksatif terhadap bahan pewangi lainnya (Anon, 1986). Selain sebagai sumber minyak atsiri, daun nilam juga bisa digunakan sebagai penolak (repelen) serangga (Sastroamidjojo, 1988; Dummond, 1960).

Sampai saat ini telah banyak dilakukan penelitian tentang penyulingan minyak atsiri terutama dikaitkan dengan perlakuan bahan sebelum dan selama proses penyulingan seperti perlakuan tekanan kerja dalam distilator. Hal ini dilakukan untuk memperoleh rendemen yang tinggi. Dahlan (1989), telah melakukan penyulingan minyak nilam dengan menggunakan sistem uap langsung selama 4 jam menghasilkan rendemen tertinggi 3.21 % pada tekanan kerja 150 kPa. Sementara itu Somantri (1999), telah melakukan simulasi untuk menentukan panjang kondensor alat penyuling minyak atsiri.

Permasalahan yang muncul kemudian adalah seberapa besar efektifitas dari sistem penyulingan yang telah dirancang bangun bisa memberikan

keuntungan yang optimal bagi pengguna. Permasalahan tersebut merupakan tantangan untuk menyediakan basis data yang dibutuhkan oleh pengguna yang berkaitan dengan performansi, optimasi dan proyeksi dari sistem penyulingan minyak atsiri. Metode atau teknik-teknik yang relevan dan handal sebagai alat dalam pengambilan sebuah kebijakan, merupakan jawaban dari permasalahan tersebut. Penelitian ini diharapkan mampu menjawab setiap permasalahan yang berhubungan dengan pengembangan sistem usaha minyak atsiri khususnya komoditas nilam secara teknis dan ekonomis.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian adalah pendekatan sistem. Manetsch dan Park (1977), mengatakan bahwa pendekatan sistem adalah metode logika dalam pemecahan masalah yang memungkinkan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mensimulasi suatu model dari sebuah sistem yang dirancang untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Sedangkan Roberts *et al.* (1983), menyatakan bahwa untuk mempelajari suatu masalah dengan menggunakan pendekatan sistem, dipusatkan pada hubungan antar berbagai komponen yang menyusun sistem tersebut secara keseluruhan.

Mempelajari suatu sistem dengan melakukan eksperimen langsung pada sistem nyata sering membutuhkan biaya yang besar dan dapat merusak

sistem yang ada. Menghindari hal tersebut perlu dibangun suatu model yang merupakan representasi dari sistem yang akan dipelajari. Law dan Kelton (1991) mengemukakan bahwa cara analitik sulit untuk digunakan dalam menganalisis suatu sistem yang sangat kompleks, oleh karena itu seringkali digunakan cara simulasi, yaitu perhitungan numerik dari suatu model yang dikembangkan untuk melihat pengaruh parameter masukan terhadap ukuran penampilan keluarannya.

Selain melakukan simulasi diperlukan teknik optimasi dalam rangka memperoleh suatu hasil yang maksimum ataupun minimum. Menurut Stoecker (1971), optimasi adalah proses untuk mendapatkan kondisi yang maksimum atau minimum dari suatu fungsi. Optimasi sudah merupakan bagian yang penting pada sebuah perancangan, meskipun kadang-kadang untuk skala kecil usaha optimasi ini tidak layak dari segi waktu dan efisiensi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem perencanaan awal sebuah agroindustri penyulingan minyak nilam pada berbagai skala usaha baik dari aspek teknis, manajemen maupun finansial. Manfaat dari penelitian ini adalah diperolehnya pangkalan data yang dapat dipergunakan sebagai input dalam sistem perencanaan perancangan alat penyuling serta sistem usaha penyulingan minyak nilam.

BAHAN DAN METODE

Proses penyulingan

Keluarnya minyak dari bahan baku adalah suatu proses penguapan. Laju penguapan pada mulanya besar dan semakin lama semakin mengecil karena minyak makin sulit menerobos permukaan bahan dan persediaan minyak dalam bahan semakin lama makin sedikit. Laju aliran keluarnya minyak ini diasumsikan mengikuti model persamaan differensial ordo pertama (Heldman dan Singh, 1981):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -kC \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (1) di atas dan dengan memasukkan kondisi batas untuk $t = 0$, $C = C_0$, maka :

$$C = C_0 \exp(-kt) \quad \dots\dots\dots (2)$$

C_0 adalah kandungan minyak awal (kg) di dalam bahan baku dan t adalah lamanya penyulingan (jam). Besarnya C_0 adalah besarnya kandungan minyak dalam bahan (%) dikalikan dengan massa

bahan (kg), sedangkan laju penyulingan (k) sangat tergantung pada besarnya tekanan kerja atau P (Pascal). Dahlan (1989), telah membuat persamaan empiris laju penyulingan minyak nilam sebagai fungsi dari tekanan kerja yang dirumuskan sebagai berikut :

$$k = -0.326 + 0.00446 P \quad \dots\dots\dots (3)$$

Distilator

Energi yang dibutuhkan oleh distilator untuk mengubah air menjadi uap merupakan jumlah dari energi untuk memanaskan air dan energi untuk penguapan dengan rumus:

Energi untuk pemanasan :

$$Q_p = m_w C_p (T_s - T_w) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Energi untuk penguapan :

$$Q_u = m_w \cdot L \quad \dots\dots\dots (5)$$

Total energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air, adalah :

$$Q_{total} = Q_p + Q_u \quad \dots\dots\dots (6)$$

Sedangkan massa uap yang terbentuk adalah :

$$m_s = \text{Eff. } Q_{total} / (h_2 - h_1) \quad \dots\dots\dots (7)$$

dimana $(h_2 - h_1)$ adalah perubahan entalpi (kJ/kg).

Dimana :

Q_p = Energi untuk pemanasan, kJ (kilo Joule)

Q_u = Energi untuk penguapan, kJ (kilo Joule)

Eff. = Effisiensi

m_s = massa uap, kg

h = entalpi, kJ/kg

Kondensor

Keseimbangan panas yang terjadi dalam kondensor diasumsikan mengikuti Hukum Termodinamika I, yaitu energi yang masuk ke dalam sistem akan sama besarnya dengan energi yang keluar dari sistem tersebut (Welty, 1974; Burghart, 1982; Sitompul, 1992). Perubahan suhu uap dan air pendingin dapat dirumuskan :

$$\frac{dT_{uap}}{dx} = -\frac{h}{\rho_c v_x} \frac{4}{N.D_{uap}} (T_{lm}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

sedangkan untuk air pendingin dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{dT_{air}}{dx} = - \frac{h}{\rho c_p v_x} \frac{4}{(D_{air} - N.D_{uap})} (T - T_{lingk}) \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

q = energi dalam kondensor, kJ (kilo Joule)

ρ = massa jenis uap, kg/m³

c_p = panas jenis uap, kJ/kg.°C

T = suhu uap, °C

N = jumlah pipa dalam kondensor

v = laju aliran uap dalam kondensor, m/detik

D = diameter, m

t = suhu air pendingin, °C

Tungku

Tungku berfungsi sebagai sumber panas pada proses penyulingan. Besarnya bahan bakar yang dibutuhkan pada setiap proses penyulingan adalah :

$$M_{bb} = Q_{total}/L_{bb} \dots\dots\dots(10)$$

dimana m_{bb} adalah massa bahan bakar (kg) dan L_{bb} adalah panas laten dari bahan bakar (kJ/kg).

Dimensi peralatan

Untuk menentukan dimensi peralatan penyulingan pada setiap kapasitas penyulingan dilakukan melalui optimasi biaya sebagai fungsi dari dimensi peralatan tersebut. Optimasi biaya dilakukan terhadap masing-masing sub-sistem dengan menggunakan metode pengali Lagrange dan penyelesaian persamaan linier non simultan Newton-Raphson serta Runge-Kutta.

Distilator

Penyelesaian biaya untuk distilator dilakukan dengan menggunakan pengali Lagrange (Soemartojo, 1987; Kamaruddin, *et al.* 1990) yaitu :

$$F(D,L, \lambda) = f(D,L) + \lambda g(D,L) \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

$f(D,L)$ = fungsi biaya awal dan biaya operasi

$g(D,L)$ = fungsi pembatas (fungsi kendala)

λ = pengali Lagrange

Kondisi di atas dapat dipenuhi dengan persyaratan :

$$\frac{\partial F(D,L,\lambda)}{\partial D} = 0, \frac{\partial F(D,L,\lambda)}{\partial L} = 0, \frac{\partial F(D,L,\lambda)}{\partial \lambda} = 0 \dots\dots (12)$$

Persamaan (12), selanjutnya diselesaikan dengan metode Newton-Raphson untuk persamaan simultan non linier (Sediawan dan Prasetyo, 1997).

Kondensor

Panjang kondensor (L) ditentukan dengan metode Runge-Kutta untuk penyelesaian persamaan differensial orde 1, yaitu :

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \dots\dots\dots(13)$$

dengan batas $x = x_0$; $y = y_0$.

Analisis Ekonomi

Dalam analisis ekonomi tersebut digunakan persamaan-persamaan baku untuk menentukan Biaya Tetap, Biaya Tidak Tetap, Biaya Produksi yang didasarkan pada pola permintaan sampai pada keuntungan yang diperoleh pada berbagai skala usaha (Pramudya dan Dewi, 1991).

Rangkaian metode di atas selanjutnya diselesaikan melalui pemrograman komputer berbasis numerik dan dikemas dengan paket multimedia. Paket ini memungkinkan pengguna dengan mudah bisa berinteraksi di dalamnya sehingga beberapa informasi yang dibutuhkan untuk perencanaan awal sebuah usaha penyulingan bisa diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keragaan proses penyulingan minyak nilam

Hasil simulasi penyulingan minyak nilam menunjukkan bahwa untuk mencapai rendemen 2.5 % dibutuhkan waktu penyulingan selama 8 jam. Waktu dan rendemen tersebut merupakan waktu dan rendemen rata-rata secara empiris dilakukan para pengusaha penyulingan dengan menggunakan penyulingan sistem kukus. Secara lengkap seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

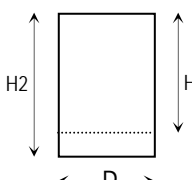
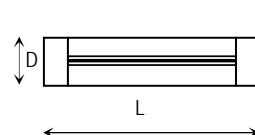
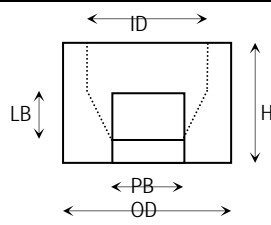
Optimasi dimensi alat penyuling

Kebutuhan dimensi optimal untuk peralatan penyulingan minyak atsiri khususnya minyak nilam untuk setiap kapasitas penyulingan seperti tertera pada Tabel 2. Pada Tabel tersebut masing-masing komponen penyulingan seperti distilator, kondensor dan tungku disajikan secara lengkap untuk kebutuhan perkerayaan penyuling minyak atsiri. Sedangkan pada Tabel 3 disajikan estimasi kebutuhan dana untuk pembuatan peralatan minyak atsiri ini. Data kebutuhan dana ini belum termasuk biaya *over head* dan biaya pemasangan alat.

Tabel 1. Keragaan penyulingan minyak nilam pada berbagai kapasitas

Kapasi- tas (kg)	Waktu (jam)	Rendemen. (%)	Distilat		Debit air pendingin (l/menit)	M. Tanah (liter)
			Debit, (l/mnt)	Suhu (°C)		
50	8	2.54	0.467	30.99	19.72	12.13
100	8	2.54	0.934	30.98	39.44	24.26
150	8	2.54	1.402	30.99	59.16	36.40
200	8	2.54	1.869	31.00	78.87	48.53
250	8	2.54	2.336	31.00	98.59	60.66
300	8	2.54	2.803	31.00	118.31	72.79
350	8	2.54	3.271	31.00	138.03	84.93
400	8	2.54	3.738	31.00	157.75	97.06
450	8	2.54	4.200	31.00	177.47	109.19
500	8	2.54	4.672	31.00	197.19	121.32

Tabel 2. Ukuran (meter) alat penyuling optimal untuk berbagai kapasitas penyulingan

												
Kapas i-tas (kg)	Vol. (m ³)	Ketel,			Kondensor,			Tungku,				
		D (m)	H1 (m)	H2 (m)	D (m)	L (m)	JPU unit	OD (m)	ID (m)	H (m)	PB (m)	LB (m)
50	0.5	0.80	1.00	1.29	0.20	1.07	24	1.05	0.80	0.90	0.40	0.28
100	1.0	1.04	1.18	1.53	0.20	2.11	24	1.29	1.04	1.14	0.52	0.36
150	1.5	1.21	1.31	1.70	0.20	3.11	24	1.46	1.21	1.31	0.60	0.42
200	2.0	1.34	1.41	1.82	0.20	4.07	24	1.59	1.34	1.44	0.67	0.47
250	2.5	1.46	1.50	1.95	0.20	5.00	24	1.71	1.45	1.55	0.72	0.51
300	3.0	1.56	1.57	2.05	0.20	5.90	24	1.80	1.55	1.65	0.78	0.55
350	3.5	1.65	1.64	2.13	0.20	6.76	24	1.90	1.65	1.75	0.82	0.58
400	4.0	1.73	1.70	2.21	0.20	7.60	24	1.98	1.73	1.83	0.86	0.61
450	4.5	1.80	1.76	2.29	0.20	8.41	24	2.05	1.80	1.90	0.90	0.63
500	5.0	1.87	1.81	2.36	0.20	9.19	24	2.12	1.87	1.97	0.94	0.66

Keterangan : JPU = Jumlah Pipa Uap (SS ½")

Tabel 3. Estimasi Biaya Pembuatan Alat Penyuling

Kapasi- tas (kg)	Vol. (m ³)	Biaya bahan (Rp)				Upah ^{*)} (Rp)	Total Biaya ^{**) (Rp)}
		Ketel,	Kondensor,	Tungku,	Pem.mnyk		
50	0.5	10.217.800	1.671.000	1.792.000	1.000.000	5.025.000	19.705.800
100	1.0	13.317.000	2.602.000	2.016.000	1.000.000	5.851.000	24.786.000
150	1.5	15.682.600	3.497.000	2.194.000	1.000.000	6.679.000	29.052.600
200	2.0	17.592.000	4.362.000	2.349.000	1.500.000	7.506.000	33.309.000
250	2.5	19.340.800	5.209.000	2.489.000	1.500.000	8.333.000	36.871.800
300	3.0	20.923.200	6.018.000	2.618.000	1.500.000	9.160.000	40.219.200
350	3.5	22.378.800	6.804.000	2.738.000	1.500.000	9.988.000	43.408.800
400	4.0	23.694.000	7.572.000	2.852.000	1.750.000	10.815.000	46.683.000
450	4.5	24.968.200	8.310.000	2.960.000	1.750.000	11.642.000	49.630.200
500	5.0	26.175.200	9.023.000	3.063.000	1.750.000	12.469.000	52.480.200

Keterangan : ^{*)} Upah = f(vol.dist) = 419469 + 1654.35(Vol)^{**)} Harga alat belum termasuk over head cost

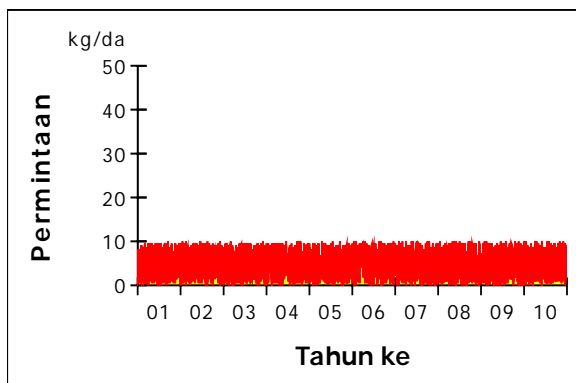
Analisis Finansial

Program yang telah disusun untuk analisis ekonomi memungkinkan kita untuk mencoba berbagai macam parameter dan skenario permintaan. Pada Tabel 4 di bawah ini ditampilkan satu contoh parameter penyulingan untuk kapasitas penyulingan 100 kg dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1, 2, 3 dan 4.

Mengingat permintaan pasar minyak nilam selalu mengalami ketidak pastian sepanjang tahun, sehingga dibutuhkan satu cara dalam menduga pengaruhnya terhadap biaya produksi. Pola yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 3, merupakan asumsi dari pola permintaan yang mungkin akan terjadi di masa datang.

Tabel 4. Parameter analisis finansial

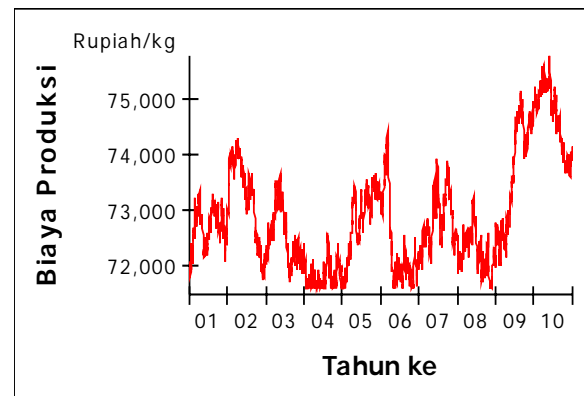
Parameter	Nilai
Kapasitas	100.00 kg
Harga minyak	200,000.00 Rupiah/kg
1 US Dollar	9,000.00 Rupiah
Stok terpenuhi	2.20 da
Faktor biaya stok	7.50 %/da
Delay informasi	30.00 da
Rendemen	0.0254 1/da
Harga nilam kering	500.00 Rupiah/kg
Harga minyak tanah	3,000.00 Rupiah/liter
Upah tenaga kerja	25,000.00 Rupiah/(orang*da)
Proses penyulingan	2.00 kali/da
Suku bunga	18.00 %/tahun
Umur teknis alat	20.00 tahun
Umur bangunan	25.00 tahun
Biaya air pendingin	10.00 Rupiah/kg



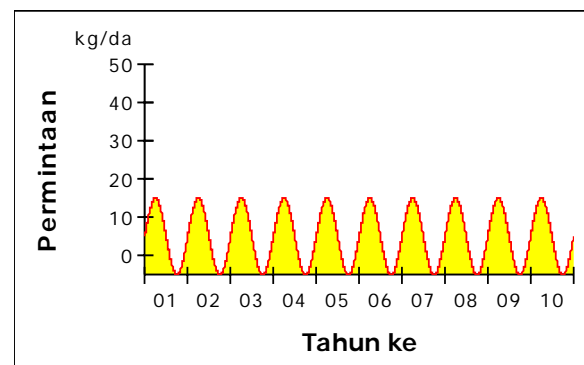
Gambar 1. Pola permintaan minyak nilam secara acak

Apabila pola permintaannya tetap atau setiap produksi selalu habis terjual maka biaya produksi untuk kapasitas produksi 100 kg (parameter Tabel 4) sebesar Rp.71.770,21/kg. Dari sini terlihat bahwa besarnya biaya produksi akan dipengaruhi oleh permintaan pasar. Permintaan pasar yang rendah menyebabkan stok di produsen menjadi tinggi. Hal

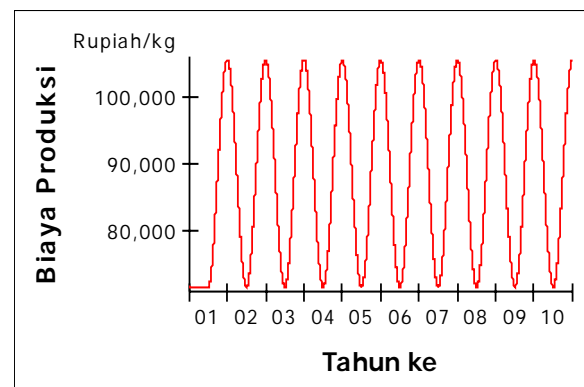
ini akan menjadi beban biaya penyimpanan stok, sehingga akan menambah biaya produksi. Sebaliknya apabila permintaan pasar tinggi (stok habis), tidak akan ada stok di produsen dan tidak ada tambahan biaya bagi biaya produksi. Hasil analisis ekonomi penyulingan minyak nilam menunjukkan bahwa hubungan antara kapasitas penyulingan dan biaya produksi per liter minyak nilam (bila permintaan tetap) akan mengikuti persamaan power $Y = 3.10^6 x^{-0.4693}$ dengan koefisien determinasi (R^2) 0.9891 bila menggunakan bahan bakar minyak tanah.



Gambar 2. Biaya produksi minyak nilam akibat pola permintaan acak pada Gb. 1.



Gambar 3. Pola permintaan minyak nilam secara sinusoidal.



Gambar 4. Biaya produksi minyak nilam akibat permintaan sinusoidal pada Gb. 3.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem pemrograman komputer untuk keperluan analisis, prediksi dan optimasi dalam sistem perencanaan awal penyulingan minyak nilam telah mampu memberikan informasi yang integrative tentang prediksi dimensi alat, harga alat, lama penyulingan, rendemen, debit distilat, kebutuhan air pendingin dan konsumsi bahan bakar. Proses penyulingan nilam secara teoritis akan berlangsung selama 8 jam untuk mendapatkan rendemen rata-rata 2.54 %. Jumlah minyak yang dihasilkan untuk setiap proses penyulingan akan berbanding lurus terhadap kapasitas penyulingannya.

Harga alat penyuling pada pengembangannya berbanding lurus terhadap besarnya kapasitas penyulingan. Biaya produksi minyak nilam akan sangat tergantung pada pola permintaannya. Untuk pola permintaan tetap (produksi minyak selalu habis terjual) akan mengikuti persamaan $y = 3 \times 10^6 x^{-0.4693}$ ($R^2 = 0.9891$) jika menggunakan bahan bakar minyak tanah.

Saran

Diperlukan suatu kajian tentang usaha penyulingan minyak atsiri secara terpadu sampai pada produk turunannya sehingga margin keuntungan yang dirasakan petani/pengusaha dapat terlihat secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous. 1986. Penelitian dan Pengembangan Minyak Atsiri Indonesia. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Bogor. 80 hal.

Burghart, M.D. 1982. Engineering Thermodynamics With Applications. U.S. Merchant Marine Academy King Point, New York. 434 p.

Dahlan, D. 1989. Model Matematik Pengaruh Tekanan Uap Terhadap Rendemen Penyulingan Minyak Nilam. Tesis. Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor. 133 hal.

Dummond, H.M. 1960. Patchouli Oil. Patchouli Oil Journal of Parfumary and essential Oil Record. 215 p.

Heldman, D.R. and R.P. Singh. 1981. Food Process Engineering. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. 415 p.

Kamaruddin, A., M.A Dhalhar dan K. Fujii. 1990. Matematika Terapan. JICA-DGHE/IPB Project/ADAET: JTA-9A(132), Fateta-IPB. 122 hal.

Law, A.M. and Kelton, W.D. 1991. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill, Inc, New York. 460 p.

Manetsch, T.J. dan G.L. Park. 1977. System Analysis and Simulation with Application to Economic and Social System. Michigan State University. USA. 572 p.

Pramudya, B., dan N. Dewi. 1991. Ekonomi Teknik. JICA-ADAET. Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi, Institut Pertanian Bogor. 256 hal.

Roberts, N., Anderson, D.F., Deal, R.M., Garet, M.S. and Shaffer, W.A. 1983. Introduction to Computer Simulation. A System Dynamics Modeling Approach. Addison-Wesley Publishing Company. Carolina. 420 p.

Stoecker, W.F. 1971. Design of Thermal System. McGraw-Hill. Book Company, New York. 460 p.

Sitompul, T.M. 1992. Alat Penukar Kalor. PT. Raja Grafindo Persada. 287 hal.

Sastroamidjojo, S. 1988. Obat Asli Indonseia. Khusus Tumbuh-tumbuhan yang terdapat di Indonesia. Catatan ke empat. Penerbit Dian Rakyat, Jakarta.

Soemartojo, N. 1987. Kalkulus lanjutan. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta. 182 hal.

Sediawan, W.B., dan A. Prasetyo. 1997. Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia. Penerbit Andi Yogyakarta. 299 hal.

Somantri, A.S. 1999. Simulasi Model Pindah Panas Pada Sistem Kondensasi Alat Penyuling. Makalah disampaikan pada seminar Bulanan Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Bogor 19 hal.

Welty, J.R. 1974. Engineering Heat Transfer. John Wiley and Sons Inc., Canada. 367 p.